

## TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA YAKLAŞIMI KULLANILARAK EN YÜKSEK ÜRETİM KAPASİTESİNİN BELİRLENMESİ

H. Kemal SEZEN\*

### ÖZET

*Bu çalışmada üretim bileşimi çok sayıda nihai üründen oluşan bir işletmede, bu nihai ürünlerden yalnız biri ile ilgili en yüksek üretim kapasitesinin belirlenmesi sorunu üzerinde durulmaktadır. Sorunun çözümü için uygun yaklaşım tamsayıli doğrusal programlama yaklaşımıdır. Söz konusu çözüme ulaşabilmek için elde edilen bilgilerin ışığında önce, üretim biçimi ve kaynak miktarları gibi etmenlerin sorunu etkilemiş şekilleri matematiksel bir model olarak ortaya konulmuş, sonra da bu model yardımıyla sözkonusu nihai ürünle ilgili işletmenin üretim kapasitesi ve kullanılan makina zamanları belirlenmiştir.*

### 1. GİRİŞ

Çağdaş işletmecilik ve yönetim anlayışı, işletme faaliyetlerinin her yönüyle sayısal olarak ortaya konulmasını gerektirmektedir. Bu gereğin karşılanabilmesi için de sayısal analizciler tarafından günümüze kadar türlü sayısal çö-

---

\* Yard. Doç. Dr.; U.Ü. İktisadi ve İdari Bilimler Fakültesi, Ekonometri Bölümü, Yöneylem Anabilim Dalı, Öğretim Üyesi.



zümleme teknik ve yaklaşımları geliştirilmiştir. Bunlardan birisi de "tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımı"<sup>1</sup>.

Tamsayılı programlamaya ilişkin sorunlarla günlük hayatta sıkça karşılaşmaktadır. Bu sorunların ortaya çıkış nedenleri genellikle, kaynakların parçalanamaması ve/veya değişkenlerin kesirli sayı tanımlamalarının pratik olarak anlamlı olmamasıdır. Örneğin uçak, gemi üretimi sayıları, işlerin makinalara atanmaları ile ilgili olarak yapılacak sayısal tanımlamalar tamsayılı olmak zorundadır. Bunun yanısıra bazı problemlerin bilinen bir yöntemle çözümlerini bulabilmek için modelde yer alan kesirli sayı değişkenlerin dönüşümler yoluyla tamsayılyapay değişkenler bileşimi olarak ifade edilebilmeleri de mümkün olabilmektedir. Değişkenlerin tamsayıly değerler alması gereken tüm bu durumlarda, tamsayıly programlama ortaya çıkmaktadır.

## 2. TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA TÜRLERİ

Tamsayıly programlama doğrusal ve doğrusal olmayan türdeki sorunlar için sözkonusu olabilmektedir. Herhangi bir modelin kısıtlayıcıları doğrusal eşitlik ya da eşitsizliklerden, amaç fonksiyonu doğrusal bir fonksiyondan oluştuğunda doğrusal programlama, diğer durumlarda ise doğrusal olmayan programlama ortaya çıkmaktadır. Doğrusal programlama modellerine değişkenlerin tamsayıly değerler almaları gerektiği konusunda yeni bir kısıtlayıcı eklenecek oluşturulan tamsayıly doğrusal programlama modelleri; eklenen kısıtlayıcının niteliğine bağlı olarak üç sınıfta toplanabilirler. Bunlar sırasıyla; tamsayıly, karma tamsayıly ve sıfır-bir tamsayıly doğrusal programlama modelleridir.  $n$  ve  $k$  tamsayı olmak üzere,  $n$  değişkenin bulunduğu bir modelde bu değişkenlerden  $k$  tanesinin tamsayıly olması istenirse;

- i)  $n - k = 0$  ise, başka bir deyişle modeldeki tüm değişkenlerin tamsayıly olması isteniyorsa bu durumda tamsayıly doğrusal programlama,
- ii)  $0 < n - k < n$  ise, diğer bir deyişle modelde yer alan bazı değişkenlerin tamsayıly değerler alması istendiği, diğerleri için bir kısıtlama getirilmediği durumda karma tamsayıly doğrusal programlama,
- iii) Modelde yer alan tüm değişkenlerin 0 veya 1 değeri almak zorunda olduğu durumda da sıfır-bir tamsayıly doğrusal programlama sözkonusu olmaktadır.

## 3. TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA DEĞİŞKENLERİ İÇİN UYGUN ÇÖZÜM DEĞERLERİ

Tamsayıly doğrusal programlama problemlerinin çözümleri için geliştiril-

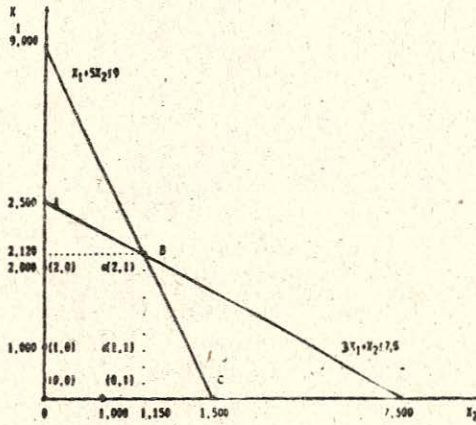
1 Tamsayıly doğrusal programlama ve çözüm teknikleri konusunda geniş bilgi için bkz: Kara (1986: 95-179); Öztürk (1986: 134-144); Yılmaz (1988: 149-166); Tulunay (1980: 491-525); Halaç (1978: 596-620).



miş özel teknikler vardır. Bunlardan sıkça kullanılan "yuvarlama", "Gomory kesim düzlemi" ve "dal ve sınır" teknikleridir<sup>2</sup>.

Tamsayı doğrusal programlama değişkenleri kesikli, doğrusal programlama değişkenleri ise sürekli değerler ile ilgilidir. Buna bağlı olarak herhangi bir modele ilişkin tamsayı doğrusal programlama uygun çözüm değerleri, bu modelle ilgili doğrusal programlama uygun çözüm değerlerinin bir alt kümesidir. Bu durum yukarıda belirtilen üç ayrı tamsayı doğrusal programlama türü için şekil yardımıyla aşağıdaki gibi açıklanabilir.

i) Tamsayı doğrusal programlama değişkenleri için uygun çözüm değerleri: İki değişkeni ( $X_1$ ,  $X_2$ ) içeren herhangi bir doğrusal programlama modelinin grafik çözümü yapıldığı zaman Şekil 1'in elde edildiğini düşünelim.



Şekil: 1

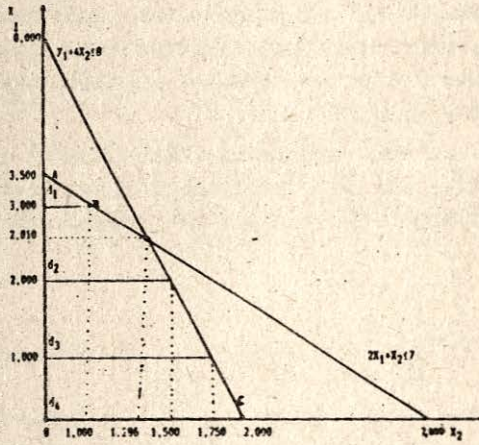
*Tamsayı doğrusal programlama için uygun çözüm değerleri*

Şekilde OABC alanı, doğrusal programlama modeli için uygun çözüm alanıdır.  $X_1$ ,  $X_2$  değişkenlerinin değerleri, amaca bağlı olarak bu alan üzerinde yer alan sonsuz sayıdaki çözüm bileşiminden herhangi birisi olabilir. Aynı model tamsayı doğrusal programlama olarak ifade edilip çözüldüğü zaman, uygun çözüm değerleri, OABC alanı üzerinde, noktalarla belirtilmiş (0,0), (1,0), (2,0), (0,1), (1,1); (2,1) değerlerdir. Görüldüğü gibi model tamsayı doğrusal programlama olarak ele alındığında yalnızca 6 uygun çözüm olması yanısıra, doğrusal programlama için sonsuz sayıda çözüm vardır.

2 Dal ve sınır tekniği kullanılarak tamsayı programlama problemlerinin çözümlerinin bulunması ile ilgili geniş bilgi için bkz: Sezen (1990: 43-62).



ii) Karma tamsayılı doğrusal programlama değişkenleri için uygun çözüm değerleri: İki değişkeni ( $X_1$ ,  $X_2$ ) içeren herhangi bir doğrusal programlama modelinin grafik çözümü yapıldığı zaman Şekil 2'nin elde edildiğini düşünelim.



Şekil: 2

Karma tamsayılı doğrusal programlama için uygun çözüm değerleri

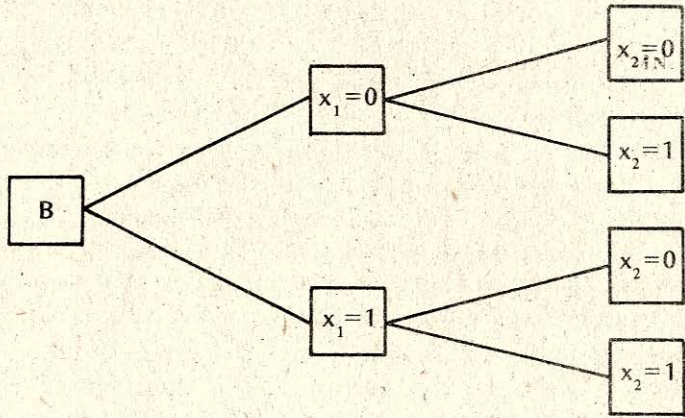
Şekilde OABC alanı, doğrusal programlama modeli için uygun çözüm alanıdır.  $X_1$  değişkeninin tamsayılı olması ile ilgili modele bir kısıtlayıcı eklenmesi halinde, sözkonusu doğrusal programlama modeli karma tamsayılı doğrusal programlama modeli olacaktır. Bu modelde  $X_2$  ile ilgili olarak  $X_2 \geq 0$  dışında herhangi bir kısıtlama yoktur. Diğer bir deyişle  $X_2$ , tamsayı veya kesirli sayı bir değer alabilecektir. Buna bağlı olarak sorun için karma tamsayılı doğrusal programlama uygun çözüm değerleri  $d_1$ ,  $d_2$ ,  $d_3$  ve  $d_4$  doğruları üzerindeki herhangi bir nokta olacaktır. Diğer bir ifadeyle bu modelin uygun çözümleri aşağıdaki dört durumdan herhangi birinin kapsamında yer alacaktır.

- |                   |                        |
|-------------------|------------------------|
| 1. $X_1 = 0$ için | $0 \leq X_2 \leq 2$    |
| 2. $X_1 = 1$ için | $0 \leq X_2 \leq 1,75$ |
| 3. $X_1 = 2$ için | $0 \leq X_2 \leq 1,5$  |
| 4. $X_1 = 3$ için | $0 \leq X_2 \leq 1$    |

iii) Sıfır-bir tamsayılı doğrusal programlama değişkenleri için uygun çözüm değerleri: İki değişkenin ( $X_1$ ,  $X_2$ ) bulunduğu herhangi bir sıfır-bir tamsayılı doğrusal programlama modelinde, değişkenlerin alabilecekleri değerler ağaç çizgesi yardımıyla Şekil 3'deki gibi gösterilebilir.

Şekil 3'den görüleceği gibi, B ağacının başlangıcını göstermek üzere, iki değişkenli bir modelde sıfır-bir tamsayılı doğrusal programlama için (0,0), (0,1),





Şekil: 3

Sıfır-bir tamsayılı doğrusal programlama için uygun çözüm değerleri

(1,0), (1,1) olmak üzere dört ayrı uygun çözüm vardır. n sayıda değişkenin bulunduğu bir sıfır-bir tamsayılı doğrusal programlama için  $2^n$  sayıda uygun çözüm olacaktır.

#### 4. KAPASİTE TANIMI VE TÜRLERİ

Üretim yöneticilerinin öncelikle bilmek zorunda oldukları konulardan birisi işletmenin elinde bulunan kaynakların birleştirilmesi sonucunda ulaşılabilecek en yüksek üretim yeteneği, başka bir deyişle üretim kapasitesidir. Bu gerekliliğin altında yatan birçok neden vardır. Bunlardan birisi, işgücü verimliliğinin artırılması için çalışanlara üretim hedefi koyma zorunluluğudur. Bir diğeri ise yeni yatırımların planlanmasıdır. Ayrıca üretim maliyetlerinin ölçeğe göre sabit ya da azalan olduğu bir işletmede, üretimdeki her birimlik artış toplam kârı arttıracığından üretilebilecek en fazla ürün miktarını, diğer bir deyişle üretim kapasitesini bilmek büyük önem taşımaktadır.

Üretim kapasitesinin ne olduğu ve türleri konusunda günümüze kadar birçok tanım yapılmıştır. Genel olarak kapasite, herhangi bir şeye kabiliyet<sup>3</sup> veya bir iş yapma, yaratma gücü ya da sınırı<sup>4</sup> biçiminde tanımlanabilir. Üretim kapasitesi ise, bir işletmenin para, hammadde, malzeme, makina gücü gibi elindeki tüm üretim faktörlerini, belirtilen teknik koşullar altında en iyi ve en uygun biçimde bir araya getirerek belirli bir dönem sonunda yaratabileceği mal ve hizmet miktarı veya değeri biçiminde tanımlanabilir.

3 Müftüoğlu (1978: 10).

4 Sabuncuoğlu ve Tokol (1989: 107).



Günümüze kadar yapılan kapasite tartışmalarında değişik kapasite türleri ortaya konulmuştur. Ancak bunların en çok kullanılanı; en yüksek (maksimum, teknik, teorik, ideal), gerçekçi (pratik, gerçek, normal) ve ekonomik (optimal) kapasite tanımlamalarıdır. Şimdi bunları kısaca açıklayalım.

**En Yüksek Kapasite:** Üretim örgütlenmesinde (organizasyonunda) hiçbir aksamanın olmadığı, diğer bir deyişle piyasada ekonomik bunalımların yaşanmadığı, işçilerin iş yavaşlatma ve grev gibi uygulamalara gitmediği, finansal sıkıntıların bulunmadığı, makina veya teçhizatla hiç bir bekleme, gecikme, aksama veya arızanın, girdi sağlamada darboğazın görülmediği vb. varsayımlar altında, işletmenin ulaşabileceği en yüksek üretim miktarı veya değeridir<sup>5</sup>.

**Gerçekçi Kapasite:** Üretim sürecinde, kalite bozukluğu, finansal yetmezlik, makina arızaları, hammadde sağlama güçlüğü, işgörenlerin görevlerini olması gereken düzeyde yerine getirmeme veya getirememeleri gibi türlü nedenlerden dolayı ortaya çıkan aksaklıklar sonucu meydana gelen miktar ya da değer eksikliğinin en yüksek kapasiteden çıkarılması sonucu ulaşılabilecek üretim miktarı ya da değeridir<sup>6</sup>.

**Ekonomik Kapasite:** Birim başına en düşük maliyet veya birim başına en yüksek kârın elde edilmesi gibi işletme amaçlarına en uygun üretim miktar veya değeri olarak tanımlanabilir.

## 5. KAPASİTENİN ÖLÇÜLMESİ

İşletme kapasitelerinin belirlenmesinde genellikle üretim düzeyleri temel alınmaktadır. Üretim düzeyinin ağırlık, hacim, uzunluk, sayı (adet) gibi fiziksel birimlerle ifade edilebilmesinin yanı sıra başka bir değerlendirme ölçüsü (parasal vb.) ile tanımlanması da olanaklıdır. Bununla birlikte ürün sayısı birden fazla olan işletmelerde doğrudan fiziksel birimlerle kapasite tanımlaması yapmak olanaklı olmamaktadır. Bu sorunun çözüm yollarından birisi, eğer işletme üretiminde aynı hammaddeyi kullanıyorsa kapasite tanımının bu hammaddeye bağlı olarak yapılması olabilir. Diğer bir yol, belli bir ürün temel alındıktan sonra, diğer tüm ürünler bu ürün cinsinden ifade edilerek kapasite tanımının yapılmasıdır. Başka bir yol da, üretimin parasal vs. bir değerle ifade edilmesi olabilir.

## 6. TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ İÇİN VERİLERİN DÜZENLENMESİ

Tamsayılı doğrusal programlama yaklaşımı kullanılarak en yüksek kapasitenin belirlenmesi; Bursa'da metal sanayii işkolunda faaliyetini sürdüren bir işletmede gerçekleştirilmiştir. Uygulama yapılan işletmede, herhangi bir yarı

5 Bkz: Mucuk (1989: 102); Sabuncuoğlu ve Tokol (1989: 107-108); Müftüoğlu (1978: 9); Pekiner (1971: 58).

6 Bkz: Mucuk (1989: 102); Sabuncuoğlu ve Tokol (1989: 108).



ürünün birden fazla nihai üründe kullanılabilmesinin yanısıra bazı yarı ürünler de tek bir nihai üründe kullanılabilir. Çalışmamıza konu olan nihai ürünün bileşiminde her bir yarı ürün belirli bir sayıda bulunmaktadır.

İşletmede nihai ürünlerin elde edilmesi için 14 değişik türde yarı ürün üretilmektedir.  $X_i$  ( $i = 1, \dots, 14$ ) yarı ürünleri göstermek üzere, kapasitesi belirlenmek istenilen nihai ürünün bileşiminde yer alan yarı ürünlerin sayıları aşağıdaki gibidir. Söz konusu veriler firmanın geçmişte yaptığı satışların aritmetik ortalaması alınmak yoluyla elde edilmiştir.

$$\begin{array}{lllll} X_1 = 5 & X_4 = 2 & X_7 = 10 & X_{10} = 1 & X_{13} = 0 \\ X_2 = 8 & X_5 = 0 & X_8 = 0 & X_{11} = 0 & X_{14} = 1 \\ X_3 = 0 & X_6 = 0 & X_9 = 0 & X_{12} = 4 & \end{array}$$

Firmada yarı ürünlerin üretimi için kullanılan 5 makina vardır. Kapasitenin belirlendiği dönem içerisinde makina parkında herhangi bir artış ya da azalışın olmayacağı varsayılmıştır.

Yarı ürünlerin makinalarda işlenme zamanları Tablo 1'deki gibidir. Söz konusu değerler değişik zamanlarda yapılan zaman etüdlerinin aritmetik ortalaması hesaplanarak elde edilmiştir.

**Tablo: 1**  
**Yarı Ürünlerin Makinalarda İşlenme Zamanları (Dakika)**

YARI ÜRÜNLER														
	$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	$X_6$	$X_7$	$X_8$	$X_9$	$X_{10}$	$X_{11}$	$X_{12}$	$X_{13}$	$X_{14}$
Mak. 1	0,230	0,343	0,540	0,832	0,100	0,540	0,540	0,874	0,140	0,450	0,565	0,960	0,120	0,540
Mak. 2	0,850	0,460	0,280	0,370	0,150	0,950	0,460	1,250	0,980	0,120	0,360	0,950	0,460	0,760
Mak. 3	0,800	1,200	0,570	0,560	0,820	0,450	0,590	0,960	0,540	0,280	0,263	0,260	0,450	0,850
Mak. 4	0,640	0,850	0,760	0,910	0,120	0,450	0,630	0,750	0,280	0,260	0,950	0,460	0,660	0,583
Mak. 5	0,620	0,025	0,450	0,850	0,655	0,250	0,955	0,105	0,850	0,672	1,020	0,172	0,850	0,196

Analiz 66 gün için, günde 22 saat çalışılacağı varsayımına bağlı olarak yapılmaktadır. Sonuçta her bir makinanın toplam çalışma zamanı 87120 dakika olarak belirlenmiştir.

Oluşturulacak modelde amaç, ilgili nihai ürün üretim değerinin olanaklar ölçüsünde en yüksek kılınması ile ilgilidir. Bunu sağlamanın yolu, nihai ürünü yarı ürünler bazında ele almak ve üretilen yarı ürünlerin üretim miktarlarını nihai üründe bulunma sayılarını gözönünde tutarak en büyükmeye çalışmak, başka



bir deyişle, bu yarı ürünler arasındaki dengeyi en büyükmeye çalışmaktır. Bu durumda amaç fonksiyonu, yarı ürünlerin üretim değerlerinin en büyükmemesi şeklinde oluşturulabilir. Bu yüzden de ürünler için kukla amaç katsayılarının tanımlanması gerekliliği ortaya çıkar. Bu katsayılar da sıfırdan büyük olmalıdırlar. Modelimizde ilgili amaç katsayıları 1 olarak tanımlanmıştır.

Kapasite belirlemesi ile ilgili nihai ürünün bileşiminde yer almayan değişkenlerin çözüme girmemesi iki ayrı yolla sağlanabilir.

i) Sözkonusu değişkenler modelde yer alabilir. Bu durumda ya ilgili değişkenlerin amaç katsayıları sıfır veya daha küçük alınmalı ya da kısıtlayıcı koşul olarak bu değişkenlerin üretilmemesi gerektiği modele eklenmelidir. Modelde izlenen yol; çözümde yer almaması gereken değişkenlerin üretim değerlerinin kısıtlayıcılar kullanılarak sıfıra eşitlenmesidir.

ii) Sözkonusu değişkenler modele sokulmayabilir. Ancak bu durumda oluşturulan model, daha geniş araştırmalara elverişli bir model olma özelliği taşımayacaktır.

## 7. TAMSAYILI DOĞRUSAL PROGRAMLAMA MODELİ

Amaç Fonksiyonu:

$$\text{En büyük } Z = 1X_1 + 1X_2 + 1X_3 + 1X_4 + 1X_5 + 1X_6 + 1X_7 \\ + 1X_8 + 1X_9 + 1X_{10} + 1X_{11} + 1X_{12} + 1X_{13} + 1X_{14}$$

Kısıtlayıcılar:

- (1)  $0,230X_1 + 0,343X_2 + 0,540X_3 + 0,832X_4 + 0,100X_5 + 0,540X_6 \\ + 0,540X_7 + 0,874X_8 + 0,140X_9 + 0,450X_{10} + 0,565X_{11} \\ + 0,960X_{12} + 0,120X_{13} + 0,540X_{14} \leq 87120$
- (2)  $0,850X_1 + 0,460X_2 + 0,280X_3 + 0,370X_4 + 0,150X_5 + 0,950X_6 \\ + 0,460X_7 + 1,250X_8 + 0,980X_9 + 0,120X_{10} + 0,360X_{11} \\ + 0,950X_{12} + 0,460X_{13} + 0,760X_{14} \leq 87120$
- (3)  $0,800X_1 + 1,200X_2 + 0,570X_3 + 0,560X_4 + 0,820X_5 + 0,450X_6 \\ + 0,590X_7 + 0,960X_8 + 0,540X_9 + 0,280X_{10} + 0,263X_{11} \\ + 0,260X_{12} + 0,450X_{13} + 0,850X_{14} \leq 87120$
- (4)  $0,640X_1 + 0,850X_2 + 0,760X_3 + 0,910X_4 + 0,120X_5 + 0,450X_6 \\ + 0,630X_7 + 0,750X_8 + 0,280X_9 + 0,260X_{10} + 0,950X_{11} \\ + 0,460X_{12} + 0,660X_{13} + 0,583X_{14} \leq 87120$
- (5)  $0,620X_1 + 0,250X_2 + 0,450X_3 + 0,850X_4 + 0,655X_5 + 0,250X_6 \\ + 0,955X_7 + 0,105X_8 + 0,850X_9 + 0,672X_{10} + 1,020X_{11} \\ + 0,172X_{12} + 0,850X_{13} + 0,196X_{14} \leq 87120$
- (6)  $0,200X_1 - 1,000X_{10} = 0$
- (7)  $0,125X_2 - 1,000X_{10} = 0$



- (8)  $0,500X_4 - 1,000X_{10} = 0$   
 (9)  $0,100X_7 - 1,000X_{10} = 0$   
 (10)  $-1,000X_{10} + 0,250X_{12} = 0$   
 (11)  $-1,000X_{10} + 1,000X_{14} = 0$   
 (12)  $1,000X_3 = 0$   
 (13)  $1,000X_5 = 0$   
 (14)  $1,000X_6 = 0$   
 (15)  $1,000X_8 = 0$   
 (16)  $1,000X_9 = 0$   
 (17)  $1,000X_{11} = 0$   
 (18)  $1,000X_{13} = 0$

ve

- (19)  $X_i \text{ (} i = 1, 2, 3, \dots, 14 \text{)} \geq 0$  ve tamsayı.

Modelde yer alan kısıtlayıcılar şöyle açıklanabilir: 1.-5. kısıtlayıcılar makinelerin çalışma zamanı ile, 6.-11. kısıtlayıcılar yarı üründen nihai ürün elde edilmesi ile, 12.-18. kısıtlayıcılar üretilmesi istenilmeyen yarı ürünler ile ve nihayet 19. kısıtlayıcı değişkenlerin negatif olmamaları ve tamsayı değerler almaları ile ilgilidir. 1.-5. kısıtlayıcılarda yer alan teknoloji katsayıları Tablo 1'deki zaman değerleridir. Sağ taraftaki kaynak değeri ise sözkonusu dönem için makina çalışma zamanıdır. 6.-11. kısıtlayıcılarda yer alan teknoloji katsayıları nihai ürün bileşimindeki yarı ürünlerin sayılarından elde edilmiştir. Örneğin 6. kısıtlayıcı şöyle açıklanabilir: Bir birim nihai ürün üretebilmek için  $X_1$  yarı ürününden 5,  $X_{10}$  yarı ürününden 1 birim üretilmesi gerekmektedir. Dolayısıyla  $X_1$  ile  $X_{10}$  yarı ürünleri üretimi arasındaki denge  $(1/5)X_1 = (1/1)X_{10}$  biçiminde formüle edilebilir. Bu denklem tamsayı doğrusal programlama çözümü için  $(1/5)X_1 - (1/1)X_{10} = 0$  biçiminde modele eklenmiştir. 7.-11. arası kısıtlayıcılar da benzer şekilde yorumlanabilir.

## 8. MODELİN ÇÖZÜMÜ

Model, tamsayı doğrusal programlama çözümü için dal ve sınır tekniğini kullanan bilgisayar paket programı ile çözümlenmiş ve  $X_{10}$  veya  $X_{14}$  değişkenlerinden hareketle, belirtilen dönemle ilgili olarak sözkonusu nihai üründen 3822 birim üretmenin olanaklı olduğu anlaşılmıştır. Başka bir deyişle, sözkonusu dönem için en yüksek nihai ürün üretme kapasitesi 3822 birimdir. Üretilmesi gereken her bir yarı ürün ile ilgili değerler ise şöyle sıralanabilir:

$$\begin{aligned} X_1 &= 19110 \text{ birim} \\ X_2 &= 30576 \text{ birim} \\ X_4 &= 7644 \text{ birim} \end{aligned}$$



$X_7$	=	38220 birim
$X_{10}$	=	3822 birim
$X_{12}$	=	15288 birim
$X_{14}$	=	3822 birim

Sözkonusu üretimin gerçekleştirilebilmesi için kullanılması gereken makina zamanları aşağıdaki gibidir.

Makina 1	=	60341,74 dakika
Makina 2	=	68604,90 dakika
Makina 3	=	87103,38 dakika
Makina 4	=	79509,06 dakika
Makina 5	=	61557,13 dakika

Üretimin 3822 birim olarak gerçekleşmesi sonucunda her bir makina ile ilgili kullanılmaya elverişli olmayan zamanlar (atıl makina zamanları) ise şu şekildedir.

Makina 1	=	26778,27 dakika
Makina 2	=	18515,10 dakika
Makina 3	=	16,61 dakika
Makina 4	=	7610,94 dakika
Makina 5	=	25562,87 dakika

Üretim kapasitesinin 3822 birim olarak gerçekleşmesinin nedeni, makina 3 ile ilgili kullanılmayan kapasitenin ek bir birim daha nihai ürün üretilmesine izin vermemesidir. Eğer üretim kapasitesinin artırılması üzerinde durulursa; öncelikle artırılması gereken kaynak miktarı, üçüncü makina ile ilgili çalışma zamanıdır. Bu sorun da sırasıyla şu üç farklı yolla çözümlenebilir: i) İlgili makina-  
dan satınalmak, ii) Bu makinanın yapması gereken işleri başka bir firmaya yaptırmak ve iii) Sözkonusu makinada ürün işleme zamanlarını düşürmek.

## 9. SONUÇ

Çalışmada, çok sayıda nihai ürün üreten bir işletme için tek bir nihai ürüne bağlı en yüksek kapasite belirlemesi yapılmıştır. Tüm nihai ürünleri içeren bir kapasite belirlemesi yapılmak istenildiğinde, önce nihai ürünler arasındaki üretim oranlarının verilmesi gerekir. Bu bilgiler işletme ürünlerine gelecekte yapılması beklenen talebin kestirimi yoluyla, geçmişteki üretim oranlarına veya yönetici kararlarına bağlı olarak belirlenebilir. Daha sonra her bir nihai ürünle ilgili ayrı ayrı üretim bileşimi kısıtları modele dahil edilir. Ancak bu işlem yapılırken bir yarı ürünün diğer nihai ürünlerde kullanılıp kullanılmaması durumu göz-  
önünde bulundurulmalı ve kısıtlayıcılar buna bağlı olarak düzenlenmelidir. Ger-



çekçi kapasitenin belirlenmek istenilmesi durumunda, ortaya çıkması olası aksaklıkların önceden kestirilerek, kaynak değerlerinin yeniden ayarlanması, yeni kısıtlayıcıların eklenmesi, teknoloji katsayılarının değişmesi gibi gerekli işlemlerin yapılması ve üretim düzeyinin buna bağlı olarak belirlenmesi gerekir.

Günümüz işletmelerinin karmaşık üretim yapıları nedeniyle, kapasite belirlemelerinin yapılabilmesi, çok sayıda değişken ve kaynak kısıtlayıcısının gözönünde bulundurulması ve bunların geniş matematiksel modeller olarak ortaya konulmasını gerektirmektedir. Bununla birlikte farklı nitelikteki modellerin çözümlerinin elde edilmesi konusunda geliştirilmiş etkin ve başarılı yöntemler ve bu yöntemlerin çağdaş bilgi işleme olanakları ile soruna hızla uygulanabilir olması, model büyüklüğünden kaynaklanan hesaplama güçlüklerini ortadan kaldırmıştır. Ancak sorunun daha zaman alıcı yönü, modellerin oluşturulmasında kullanılan verilerin elde edilmesidir. Uygulamada sıkça karşılaşılan bu sorun da, tüm işletme faaliyetlerine ilişkin bilgilerin düzenli olarak toplanması yoluyla aşılabilir.

## KAYNAKLAR

- Halaç, O.;** *Kantitatif Karar Verme Teknikleri: Yöneylem Araştırması*, İstanbul, Arpa Matbaacılık, 1978.
- Kara, İ.;** *Yöneylem Araştırması: Doğrusal Olmayan Modeller*, Eskişehir, Anadolu Üniversitesi Basımevi, 1986.
- Mucuk, İ.;** *Modern İşletmecilik*, 4. B., İstanbul, Der Yayınları, 1989.
- Müftüoğlu, M.T.;** *İşletme İktisadi Açısından Sanayi İşletmelerinde Üretim Kapasitesi*, A.Ü.S.B.F. Yayını, No: 422, Ankara, 1978.
- Öztürk, A.;** *Leontief Modeli ve Doğrusal Programlama*, 2. B., Bursa, Örnek Kitabevi, 1986.
- Pekiner, K.;** *İşletmelerde Produktivite Denetimi*, İstanbul: Fakülteler Matbaası, 1971.
- Sabuncuoğlu, Z. ve Tokol, T.;** *İşletme I-II*, Bursa, 1989.
- Sezen, H.K.;** *Dal ve Sınır Tekniği: Üretim Sıralama ve Satınalma Problemlerine Bir Uygulama*, Yayınlanmamış Doktora Tezi, U.Ü.S.B.E., Bursa, 1990.
- Tulunay, Y.;** *Matematik Programlama ve İşletme Uygulamaları*, İstanbul: Sermet Matbaası, 1980.
- Yılmaz, Z.;** *Sayısal Yöntemler*, Bursa, Uludağ Üniversitesi Basımevi, 1988.